Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 2, May-June 2022, p. 267-282

Changes in Soil Magnetic Properties and Iron Oxides Following Land Use Change (Case Study: Mokhtar Plain, Kohgilouye Province)

H.R. Owliaie[1]*, E. Adhami[2], M. Najafi Ghiri[3]

Received: 14-02-2022 Revised: 28-02-2022 Accepted: 03-04-2022 Available Online: 21-07-2022	**How to cite this article:** Owliaie H.R., Adhami E., and Najafi Ghiri M. 2022. Changes in Soil Magnetic Properties and Iron Oxides Following Land Use Change (Case Study: Mokhtar Plain, Kohgilouye Province). Journal of Water and Soil 36(2): 267-282. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JSW.2022.75178.1140

Introduction

Global observations have confirmed that in recent decades, forests have been converted into agricultural land at a swift pace; this is a major global concern. Forests around the world have also experienced severe disturbances due to other anthropogenic activities. The conversion of forests to cropland often results in soil degradation. Slope gradient and land use change are known to influence soil quality; therefore, the assessment of soil quality is important in determining sustainable land-use and soil-management practices. Magnetic susceptibility (χ_{lf}) measurements are widely used to study soil-forming processes. Many efforts have been made to correlate soil magnetic susceptibility with different soil properties, such as topography, parent material, Fe oxide forms, etc. The Yasouj area of Kohgilouye Province is one of the most densely forested areas in Zagros mountainous region. Parts of the area have been cultivated to feed the growing population, which has led to forest degradation. The objectives of this study were to assess some soil properties focusing on soil χ_{lf} and Fe-oxides forms in different land uses and slope positions.

Materials and Methods

Forty soil samples were taken from dense forest, sparse forest, eroded lands and dryland farming from different slops (0-15 and 15-30 percent) in Mokhtar Plain, west of Yasouj city. Soil samples were taken from the depth of 0–15 cm in a completely randomized design with five replications. Soil moisture and temperature regimes in the study area are xeric and thermic, respectively. Particle size distribution was determined by the hydrometer method and soil organic matter, $CaCO_3$ equivalent and bulk density were determined using standard procedures. Fe (Feo) were extracted by acid ammonium oxalate, using a single 4-h extraction at pH 3 in the dark. Total free iron (Fed) was extracted with the CBD method. The total Fe contents (Fet) in the soil samples were determined after extraction with 5 mol L^{-1} HNO_3. Magnetic susceptibility of the soils was measured at low (0.46 kHz; χ_{lf}) and high (4.6 kHz; χ_{hf}) frequencies, respectively; using a Bartington MS2 dual-frequency sensor, with approximately 10 g of air-dry soil in polyethylene vials. The percentage of frequency-dependent magnetic susceptibility (χ_{fd}%) was calculated to study the size of magnetic crystals in soils and the abundance of pedogenic ferrimagnetic in SP-SSD (~0.03 μm) boundary.

Results and Discussion

The results of this study showed that the land use and slope positions were among the important factors affecting the change of soil properties in this area. Land use change along with the reduction of organic matter reduced the stability of aggregates and increased land erosion. This process caused the loss of clay particles and magnetic minerals and affected many soil properties. Organic matter as an important indicator of soil quality, showed a decrease of about 3 times as a result of land use change from dense forest to eroded lands following by

---

1 and 2- Associate Professors, Department of Soil Science, Yasouj University, Yasouj, Iran
(*- Corresponding Author Email: owliaie@gmail.com)
3- Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran

an increase in bulk density and a decrease in soil permeability and other soil quality indicators. Long-term afforestation and agricultural activities on sloping lands changed the soil texture from a class of silty loam in the forest to a lighter class of silty loam in agricultural use. Soil magnetic susceptibility, which is a function of soil magnetic particles was greatly affected by land use change and to a lesser extent by slope position. Due to the fact that magnetic susceptibility is influenced by factors such as soil texture, drainage class, erosion conditions, magnetic mineral contents, soil evolution conditions, land use changes from forest to other uses had significant effects (about 2 times) on χ_{lf}. Significant decrease in the amount of calcium carbonate in low slope positions was another reason for the increase in magnetic susceptibility in these positions. According to the measured values of χ_{fd} (ranged from 1.9 to 7.2%), the magnetic particles of the soils had low to moderate amounts of superparamagnetic (SP) particles, which indicates the combined effect of pedogenic superparamagnetic ultrafine particles and lithogenic (inherited) magnetic particles in χ_{lf} of the soils. The effect of slope on Fe forms (Fe_o, Fe_d and Fe_t) has been significant ($p < 0.01$) in almost all land uses. Due to the relatively high correlation of χ_{lf} with some soil properties such as Fe forms, soil clay, the amount of diamagnetic compounds including calcium carbonate in the studied soils, it is possible to estimate the value of these soil properties using χ_{lf}, which is a quick and cost-effective approach. Overall, it seems that magnetic susceptibility could be applied successfully to estimate some soil properties in hilly regions of Zagros Mountains of southwestern Iran, especially for monitoring the consequences of land use changes. It should also be noted that any change in the use of the area should be defined in accordance with the potential of the land in the long term to prevent a reduction in soil quality.

Keywords: Fe-oxides, Magnetic susceptibility, Land use change, Soil quality, Slope position

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱، ص ۲۸۲-۲۶۷

تغییر شاخص‌های مغناطیسی و اکسیدهای آهن خاک در پی تغییر کاربری (مطالعه موردی: دشت مختار استان کهگیلویه و بویراحمد)

حمیدرضا اولیایی[1]*- ابراهیم ادهمی[2]- مهدی نجفی قیری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی و شیب بر برخی ویژگی‌های خاک با تمرکز بر شاخص‌های مغناطیسی و اکسیدهای آهن خاک در منطقه مختار یاسوج انجام گرفت. در این منطقه از چهار کاربری جنگل متراکم، جنگل تُنُک، اراضی فرسوده و کشت دیم و در هر کاربری از دو کلاس شیب ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ درصد و در هر کاربری از ۱۰ نقطه سطحی (عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر) به صورت تصادفی (مجموعاً ۴۰ نمونه) نمونه‌برداری انجام گرفت. میانگین ماده آلی در کاربری جنگل متراکم (۵/۲۴٪) به طور معنی‌داری بیشتر از سایر کاربری‌ها بوده است. جنگل‌تراشی و عملیات زراعی بر روی اراضی شیب‌دار، موجب سبک‌تر شدن بافت خاک و کاهش معنی‌دار مقدار رس در کاربری زراعی شده است. همچنین چگالی ظاهری و کربنات کلسیم معادل با تغییر کاربری از جنگل متراکم به کاربری زراعی افزایش یافته‌اند. پذیرفتاری مغناطیسی (χ_{lf}) خاک به میزان زیادی تحت تأثیر تغییر کاربری و به میزان کمتر تحت تأثیر موقعیت شیب بوده است. تغییرات کاربری از جنگل متراکم به سایر کاربری‌ها کاهش معنی‌داری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد) بر χ_{lf} داشته است. با توجه به مقادیر ۱/۹ تا ۷/۲ درصدی پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ_{fd})، این خاک‌ها دارای مقادیر کم تا متوسط ذرات پدوژنیک سوپرپارامگنتیک بوده‌اند. همبستگی نسبتاً بالایی بین χ_{lf} با برخی ویژگی‌های از جمله شکل‌های آهن، ماده آلی، بافت خاک و میزان کربنات کلسیم مشاهده شد. با اندازه‌گیری χ_{lf} که امکان اندازه‌گیری سریع و ارزانی دارد، می‌توان مناطق حساسی را که در معرض تخریب زیادی بوده، شناسایی و اقدامات مدیریتی مناسب را اتخاذ نمود.

واژه‌های کلیدی: اکسید آهن، پذیرفتاری مغناطیسی، تغییر کاربری اراضی، کیفیت خاک، موقعیت شیب

مقدمه

خاک سالم پایه کشاورزی بوده و برای تأمین نیازهای انسانی، مانند غذا، خوراک، الیاف، آب تمیز و هوای پاک ضروری است. خاک یک بخش حیاتی اکوسیستم است که به منظور ارائه خدمات اولیه اکوسیستم از آنها پشتیبانی می‌کند (Amundson *et al.*, 2015). کیفیت خاک بیانگر وضعیت خاک و توانایی تولید پایدار خاک می‌باشد و تعریف آن بسته به هدف پژوهش متفاوت است. بنابراین باید شاخص‌هایی از خاک مورد بررسی قرار گیرند که بتوانند وضعیت عملکرد گیاه و نوع مدیریت را در آن شرایط به خوبی بیان نمایند و گویای وضعیت کلی سیستم خاک باشند. در این رابطه می‌توان به شاخص‌هایی مانند میزان کربن آلی، درصد ذرات اولیه، مقدار نیتروژن کل، چگالی ظاهری، مقدار آب قابل دسترس، هدایت هیدرولیکی، pH، بافت و ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها اشاره نمود (Lal, 1995). بخشی از ناپایداری سیستم کشاورزی به دلیل کاهش کیفیت خاک در طول زمان می‌باشد. بر همین اساس انتخاب نوع بهره‌برداری از اراضی باید با در نظر گرفتن حفظ کیفیت خاک انجام گیرد. تخریب ذخایر طبیعی موجب کاهش نواحی تحت کشت گیاهان طبیعی و تبدیل آنها به کاربری‌ها و پوشش‌های دیگر زمین می‌شود که تحت

۱ و ۲- دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: owliaie@gmail.com)
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
DOI: 10.22067/JSW.2022.75178.1140

سیستم مدیریت انسان می‌باشد (Bewket and Stroosnijder, 2003). تغییر کاربری از جنگل یا مرتع به کشاورزی باعث تخریب خاک گردیده و موجب کاهش موقت یا دائمی ظرفیت تولید است، می‌شود (Lal *et al*., 1999).

در چهار قرن گذشته حدود ۳۰ درصد از اراضی جنگلی و مراتع طبیعی، به زمین کشاورزی تبدیل شده‌اند (Hajabbasi et al., 1997). آشفتگی‌های ناشی از جنگل‌زدایی، چرای بی‌رویه، آتش-سوزی‌های کنترل نشده و تبدیل مراتع و جنگل‌ها به اراضی کشاورزی در ایران و دیگر نقاط جهان کاهش کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را به همراه داشته است (Doran and Parkin, 1994 ; Hajabbasi *et al*., 1997). خاک‌های اراضی جنگلی به دلیل مواد آلی زیاد و ساختمان مناسب همواره مورد توجه بوده‌اند، ولی تغییر در مدیریت و کاربری آنها و اعمال خاک‌ورزی، عموماً تأثیر عمده‌ای بر میزان ماده آلی و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گذارد (Mehmandoost *et al*., 2020; Thompson and Oldfield, 1986). پستی و بلندی با تأثیر بر ویژگی‌های خاک و شرایط زهکشی به عنوان یک عامل طبیعی و تغییر کاربری اراضی به عنوان عامل انسانی، از مهمترین عوامل مؤثر بر تغییر و تحول خاک می‌باشند. این عوامل با اثرگذاری بر جهت و موقعیت شیب (کنترل حرکت رواناب و تأثیر بر فرسایش خاک، زهکشی و نگهداری آب)، بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر می‌باشند (Moghbeli *et al*., 2019; Owliaie *et al*., 2018; Owliaie and Najafi Ghiri, 2015).

اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در خاک، محصول ذاتی فرآیندهای اصلی خاکساز هستند و بیانگر برهمکنش‌های پیچیده شیمیایی، زمین‌شناسی و زیستی میان مواد مادری، اجزای خاک (کانی‌ها، موادآلی، موجودات زنده و ...) و عوامل بیرونی (اقلیم، دما، بارش، زمان و توپوگرافی) می‌باشند (Jordanova, 2017). این ترکیبات تقریبا در همه خاک‌ها در مقادیر و شکل‌های مختلف حضور دارند و میزان و نسبت بین شکل‌های آن از شاخص‌های مهمی است که در مطالعات مرتبط با مطالعات ژنتیکی خاک و اثرات کاربری بر ویژگی‌های مختلف خاک مورد استفاده قرار گرفته است (Enjavinejad *et al*., 2017; Moghbeli *et al*., 2021). این ترکیبات به ویژه نقش اساسی بر شاخص‌های مغناطیسی خاک به ویژه پذیرفتاری مغناطیسی خاک (χ_{lf}) دارند. پذیرفتاری مغناطیسی یا قابلیت مغناطیسی شدن، درجه‌ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی شناخته شده و معینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقدار این تأثیر، تابع غلظت و نوع کانی‌های مغناطیسی (عمدتا اکسیدهای آهن) است که در نمونه وجود دارد (Sadiki *et al*., 2009).

منبع اصلی پذیرفتاری مغناطیسی در بیشتر خاک‌ها، کانی‌های فری‌مگنتیک مانند مگنتیت (Fe_3O_4) و مگهمیت (γFe_2O_3) می‌باشند. این اکسیدها در خاک‌های مناطق مختلف آب و هوائی در یک یا چند شکل و به مقادیر مختلف وجود دارند (Schwertmann and Taylor, 1989). خصوصیات کانی‌های مغناطیسی تابعی از نوع کانی، شکل بلور، اندازه آن و سایر عوامل می‌باشد (Mullins, 1977). افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها اساساً به دلیل تشکیل پدوژنیک کانی‌های فرّی‌مگنتیت می‌باشد که به میزان زیادی به عوامل خاک-ساز شامل ماده مادری، آب و هوا، پستی و بلندی، کاربری و پوشش گیاهی بستگی دارد. فرضیه مطرح در مورد افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، بیشتر اشاره به تغییر شکل در جایِ آهن غیرمغناطیسی، به ریزبلورهای مگنتیت و مگهمیت دارد (Feng and Johnson, 1995).

اکسیدها و هیدرکسیدهای آهن شامل ترکیباتی بی‌شکل تا ترکیباتی کاملاً متبلور هستند. با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف می‌توان شکل‌های مختلف آنها را در خاک جداسازی نمود. اکسید آهن (III) بی‌شکل به وسیله اگزالات آمونیم اسیدی (Fe_o) اندازه‌گیری می‌شود، در حالی که مقدار کل ترکیبات آهن پدوژنیک (Fe_d) به وسیله سیترات–بی‌کربنات–دی‌تیونات (CBD) عصاره‌گیری می‌شود. بنابراین مقدار ($Fe_d - Fe_o$) معیاری از میزان ترکیبات پدوژنیک متبلور آهن، نسبت (Fe_o / Fe_d) معیاری از اکسیدهای آهن فعال و نسبت (Fe_d / Fe_t) شاخص تبلور آهن در خاک می‌باشند (Munch and Ottow, 1983).

پژوهش‌هایی پیرامون اثر تغییرات کاربری بر شکل‌های آهن و شاخص‌های مغناطیس خاک صورت گرفته است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربری اراضی بر توزیع و میزان پذیرفتاری مغناطیسی تاثیرگذار است (Magiera *et al*., 2006). افشاری و همکاران (Afshari *et al*., 2015) مطالعه‌ای را بر روی خاک‌های منطقه زنجان با کاربری‌های مختلف (شهری، صنعتی، کشاورزی و مرتع) و مواد مادری متفاوت انجام دادند. بر اساس نتایج منتشر شده بیشترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک در اراضی شهری با مقدار 467×10^{-8} m^3kg^{-1} گزارش شد. در پژوهش دیگری اثرات کاربری اراضی و موقعیت شیب بر تغییرات برخی ویژگی‌های خاک‌های اراضی تپه‌ماهوری جنوب ایران مطالعه شد. نتایج نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی در جنگل طبیعی بیشترین مقدار را داشته و پس از آن به ترتیب جنگل تخریب شده و زمین زراعی قرار گرفتند و در کلیه کاربری‌ها با افزایش شیب مقدار پذیرفتاری مغناطیسی کاهش یافت (Vafaiezadeh *et al*., 2015). تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های مغناطیسی خاک مؤثر می‌باشد، به طوری که تفاوت‌های معنی‌داری در میانگین پذیرفتاری‌های مغناطیسی کاربری‌های مختلف وجود دارد. خاک‌های تحت کشت اغلب دارای مقادیر متوسط پذیرفتاری مغناطیسی کمتری نسبت به خاک‌های با پوشش طبیعی هستند (Mokhtari *et al*., 2011). همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که خاک‌های تحت کشت اغلب دارای مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی

کمتری نسبت به خاک‌های با پوشش طبیعی می‌باشد. نامبردگان مغناطیس‌سنجی را یک روش مناسب در اینگونه مطالعات معرفی نمودند.

پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ_{fd}) شاخصی از توسعه فرآیندهای خاکسازی و بازتابی از اندازه ذرات فری‌مغناطیس آهن است که نسبت به حضور ذرات با اندازه کمتر از ۱ µm (به ویژه ذرات سوپرپارامگنتیک (SP=Superparamagnetics) و تک حوزه‌ای (SD=Single domain) با اندازه ۰/۰۳–۰/۰۱ µm) حساس است (Yang *et al.*, 2009). مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس نشان‌دهنده حضور مشخص ذرات خیلی ریز فری‌مغناطیس خاک‌ساز است (Lu *et al.*, 2008). میزان پذیرفتاری مغناطیسی این ذرات زیاد، اما خواص مغناطیسی آنها پس از حذف میدان مغناطیسی به سرعت کاسته می‌شود. رفتار ویژه مغناطیسی این ذرات بسیار ریز بستگی به فرکانس میدان مغناطیسی دارد. حضور مواد سوپرپارامگنتیک که عمدتاً پدوژنیک بوده و در نتیجه فرایندهای بیوشیمیایی در خاک تشکیل می‌گردند، توسط χ_{fd} قابل اندازه‌گیری است (Dearing, 1999).

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان یک روش ساده، نسبتاً ارزان، سریع و غیر مخرب در مطالعات خاکشناسی یکی دو دهه اخیر مطرح می‌باشد (Dearing, 1999). مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی در سالهای اخیر در ایران عمدتاً به مطالعات ژنتیکی، آلودگی خاک، تشکیل و تکامل خاک و همچنین نقش فرسایش بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی مرتبط بوده و کمتر به نقش تغییر کاربری و شیب اراضی بر تغییرات شاخص‌های مغناطیسی خاک به همراه شکل‌های شیمیایی آهن پرداخته شده است. کاربری‌های مختلف اراضی نقش مهمی در تعیین ویژگی‌های خاک‌ها دارند. در چند دهه اخیر رشد جمعیت و مهاجرت موجب شده است که اراضی دامنه‌ای (بعضاً با شیب زیاد) منطقه زاگرس (با کاربری جنگل و مرتع) یا تخریب و فرسوده شده و یا تبدیل به اراضی کشاورزی (عمدتاً دیمزار) شوند.

با توجه به زمان کم مورد نیاز برای اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی خاک و همچنین امکان اندازه‌گیری صحرایی، بررسی ارتباطات این شاخص با سایر ویژگی‌هایی از خاک که تعیین آنها زمان‌بر و پرهزینه می‌باشند، کمک قابل توجهی در سهولت پایش ویژگی‌های کیفی خاک می‌نماید. بنابراین انجام پژوهش‌هایی مرتبط با تغییر کاربری به عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی و ویژگی‌های خاکی ضروری می‌باشد. این مطالعه به منظور بررسی اثر کاربری‌های مختلف و شیب بر ویژگی‌های خاک به ویژه اشکال مختلف آهن و شاخص‌های مغناطیسی خاک انجام گردیده‌است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به وسعت تقریبی ۳۰۰ هکتار در غرب شهر یاسوج قرار گرفته است. منطقه در مختصات جغرافیایی ″۳۰ ′۲۸ °۵۱ تا ″ ۴۹ ′۳۰ °۵۱ طول شرقی و ″ ۴۹ ′۴۰ °۳۰ تا ″۴۰ ′۴۲ °۳۰ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین ارتفاع منطقه ۱۸۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بارندگی و دمای منطقه مطالعاتی بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک یاسوج به ترتیب ۸۵۱ میلی‌متر و ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب زریک و ترمیک می‌باشد. منطقه مطالعاتی بر روی رسوبات آهکی–مارنی سازندهای آسماری و پابده–گورپی قرار دارد. رده‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی شامل زیر گروه‌های Typic Haploxerolls در بخش‌های با پوشش جنگلی متراکم و Typic Xerorthents در سایر کاربری‌ها می‌باشند. منطقه دارای ۴ کاربری جنگل متراکم (DF)، جنگل مخروبه تُنُک (SF)، کشت دیم (به طور عمده گندم و جو) (DL) و اراضی فرسایش یافته بدون پوشش (EL) می‌باشد. در هر کاربری دو کلاس شیب شامل شیب ۱۵–۰ و ۳۰–۱۵ درصد انتخاب و در هر موقعیت شیب و در هر کاربری، ۱۰ نقطه به صورت تصادفی از عمق ۱۵–۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شدند (در مجموع ۴۰ نمونه). نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شده و پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و برای تجزیه‌های فیزیکی، شیمیایی و مغناطیسی به آزمایشگاه منتقل شدند. چگالی ظاهری (BD) با استفاده از روش استوانه با حجم مشخص اندازه‌گیری شد (Blake and Hartge, 1986). درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (Page *et al.*, 1982)، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Page *et al.*, 1982) و بافت خاک به روش هیدرومتری (Day, 1965) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ترکیبات بی‌شکل و آلی آهن (Fe_o) توسط عصاره‌گیری با آمونیوم اگزالات اسیدی در pH=۳ در تاریکی صورت گرفت (McKeague et al., 1981). ترکیبات آهن متبلور، بی‌شکل و آلی (Fe_d) بوسیله عصاره‌گیری توسط سیترات- بی‌کربنات–دی تیونات (CBD) استخراج گردید (Holmgren, 1976). آهن کل خاک (Fe_t) نیز با روش هضم با تیزآب سلطانی (Aqua regia) شامل اسیدهای HClO4-HNO3-HCl-HF اندازه‌گیری گردید (Sparks, 1996). میزان آهن موجود در عصاره‌ها توسط دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA 670 پس از رقیق کردن به میزان لازم اندازه‌گیری گردید. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های پودری خاک بوسیله دستگاه Bartington Dual Frequency، MS2 Meter در فرکانس‌های ۰/۴۶ و ۴/۶ KHz اندازه‌گیری شد. برای این منظور حدود ۱۰ گرم خاک خشک شده در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) در ظروف

پلاستیکی کوچک با قطر ۲/۲ سانتی‌متر ریخته تا ارتفاع آن به حدود ۲cm برسد. قرائت‌های شاهد بر روی ظروف خالی در ابتدا و انتهای قرائت نمونه خاک، جهت تصحیح اثرات احتمالی ظرف بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی انجام گرفت.

پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χfd٪) با استفاده از فرمول (۱) به عنوان شاخصی از حضور ذرات خیلی‌ریز فرومغناطیس خاک‌ساز ناشی از فرآیندهای خاکسازی محاسبه گردید (Dearing, 1999).

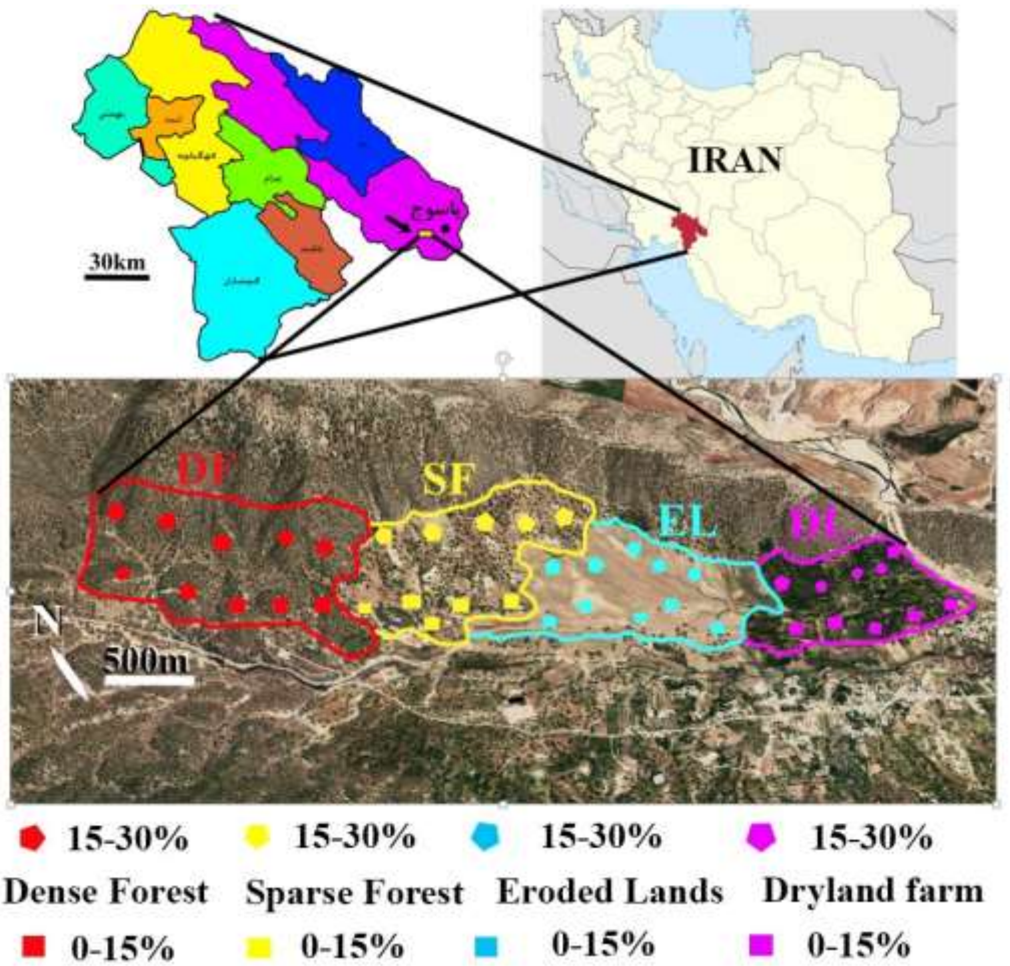
$$\chi fd\% = \frac{(\chi lf - \chi hf)}{\chi lf} \times 100 \quad (۱)$$

تجزیه‌های آماری

برای تجزیه آماری داده‌ها، طرح فاکتوریل (فاکتور ۱: کاربری در چهار سطح، فاکتور ۲: موقعیت شیب در دو سطح)، در هر موقعیت ۵ تکرار و در مجموع ۴۰ نمونه در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.3 انجام شد. توزیع فراوانی با کمک پارامترهای آماری شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.3 انجام گرفت. مقایسه میانگین متغیرها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ توصیف آماری ویژگی‌های مغناطیسی، فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مطالعه شده و جدول ۲ مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در شیب ها و کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کهگیلویه و توزیع نقاط نمونه‌برداری خاک درکاربری‌های انتخاب شده

Figure 1- Geographic location of the studied region in Iran and Kohgilouye Province and distribution of soil sampled point in selected land uses

ضرایب تغییرات برای اکثر عوامل کمتر از ۳۵ درصد می‌باشد (جدول ۱) که بیانگر یکنواختی نسبی نمونه‌برداری در نقاط نمونه‌برداری و دقت آزمایش‌های آماری است (Ogunkunle and Eghaghara, 2007).

ماده آلی خاک‌ها به عنوان یک شاخص کیفی مهم در دامنه ۱/۳۹ تا ۷/۴۵ درصد متغیر بوده است که مقادیر بالاتر در کاربری جنگلی متراکم مشاهده شده است. مقدار ماده آلی در کاربری جنگل متراکم با سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری داشت، اما بین کاربری‌های جنگل تنک و اراضی دیمزار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

چگالی ظاهری خاک‌ها در دامنه ۱/۱۷ تا ۱/۷۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نوسان بوده است. کمترین میزان در جنگل متراکم (۱/۲۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و بیشترین میزان در اراضی فرسایش یافته (۱/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) مشاهده شده است (جدول ۲). همچنین اثر شیب فقط در کاربری‌های جنگل متراکم و اراضی فرسایش‌یافته معنی‌دار بوده است و در دو کاربری دیگر تفاوتی را نشان ندادند (جدول ۲). خاک اراضی زراعی به دلیل خاک‌ورزی و عبور ماشین‌آلات کشاورزی و همچنین مقدار ماده آلی کمتر، متراکم‌تر می‌باشند که توسط پژوهشگران زیادی افزایش چگالی ظاهری خاک‌ها طی تغییر کاربری اراضی به کاربری زراعی گزارش شده است (Carter *et al*., 1998; Celik, 2005; Evrendilek *et al*., 2004; Islam and Weil, 2000). تجزیه مواد آلی خاک بر اثر تبدیل کاربری‌های طبیعی زمین به اراضی زراعی و تخریب ساختمان، به عنوان دو عامل مهم برای افزایش چگالی ظاهری خاک‌ها عنوان شده است (Celik, 2005). ساختمان مناسب و ثبات خاکدانه‌ها در نتیجه وجود ماده آلی در افق سطحی خاک موجب افزایش تخلخل، کاهش چگالی ظاهری، افزایش نفوذپذیری، کاهش رواناب و نهایتاً کاهش فرسایش خاک خواهد شد (Adélia *et al*., 2011; Pathak *et al*., 2004).

بافت خاک‌های مطالعه شده لوم رسی شنی تا رسی می‌باشد. میزان رس در کاربری‌های جنگل متراکم، جنگل تنک، زراعی و اراضی فرسایش‌یافته به ترتیب کاهش یافته‌است، گرچه بین کاربری‌های زراعی و اراضی فرسایش‌یافته تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۲). کاهش ماده آلی و همچنین دخالت انسان منجر به تخریب خاک‌دانه و جدا شدن ذرات رس و انتقال آنها از اراضی می‌شود. همچنین اثر شیب بر بافت خاک در همه کاربری‌ها (به جز اراضی فرسایش‌یافته) معنی‌دار بوده است و مقادیر بالاتر رس در پایین شیب مشاهده شده است (جدول ۲). حاج‌عباسی و همکاران (Hajabbasi *et al*.,1997) با مطالعه بافت خاک لایه سطحی منطقه لردگان بیان داشتند که مقدار رس خاک تحت کشت، نسبت به خاک جنگل کمتر است.

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های مغناطیسی، فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مطالعه شده

Table 1- Descriptive statistics of soil magnetic and physical-chemical properties of the soils of the studied pedons (n = 40)[1]

متغیر Variable	واحد Unit	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV (%)	چولگی Skew	کشیدگی Kurtosis
Sand	%	16.0	46	31.9	9.33	29.2	-0.27	-1.49
Silt	%	24.0	51	35.4	6.79	19.2	0.49	-0.66
Clay	%	23.0	48	32.6	6.79	20.8	0.54	-0.63
BD	g cm^{-3}	1.17	1.70	1.42	0.14	9.9	0.05	-0.99
CCE	%	11.1	33.8	23.6	5.06	21.4	-0.44	-.0.01
OM	%	1.39	7.45	3.04	1.10	36.5	1.29	0.99
Feo	g kg^{-1}	0.01	0.16	0.05	0.03	32.8	1.58	2.45
Fed	g kg^{-1}	0.42	1.51	0.88	0.28	32.3	0.45	-0.76
Fet	g kg^{-1}	1.03	2.04	1.47	0.26	17.8	0.52	-0.75
Feo/Fed	-	0.02	0.13	0.06	0.02	37.5	1.05	2.06
χ_{lf}	10^{-8} m^3 kg^{-1}	36.7	96.6	61.8	19.4	31.4	0.36	-1.36
χ_{hf}	10^{-8} m^3 kg^{-1}	38.7	90.9	59.1	17.9	30.3	0.36	-1.36
χ_{fd}	%	1.93	7.2	4.05	1.18	29.1	0.41	-0.55
Fed/Fet	-	0.36	0.82	0.58	0.10	17.8	-0.08	-0.48

[1]SD: standard deviation, CV: coefficient of variation, Skew: skewness

OM: موادآلی خاک (Organic matter) BD چگالی ظاهری (Bulk Density)، CCE: کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate Equivalent)، χ_{lf} پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس پائین (Low Frequency Magnetic Susceptibility)، χ_{hf}: پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس بالا (High Frequency Magnetic susceptibility)، χ_{fd} پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (Frequency Dependent Magnetic Susceptibility)، Feo: آهن اگزالاتی (Oxalate extractable Fe)، Fed: آهن دی‌تیوناتی (Dithionite extractable Fe)، Fet: آهن کل (Total Fe).

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در شیب ها و کاربری‌های مختلف در عمق ۱۵-۰ سانتی متر در منطقه مورد مطالعه[1]

Table 2- Mean comparison of soil properties in different slopes and land uses at 0-15 cm depth in the studied region

Slope شیب	Land use کاربری	CCE	OM	Clay	BD	χ_{lf}	χ_{hf}	χ_{fd}	Feo	Fed	Fet	Feo/Fed	Fed/Fet
		%			gkg^{-1}	$(10^{-8}\ m^{-3}\ kg^{-1})$		%					
S1	DF	14.7 e	5.99 a	44 a	1.22 f	91.5 a	86.0 a	6.06 a	0.12 a	1.36 a	1.91 a	0.09 a	0.71 a
	SF	22.1 cd	3.13 c	39 b	1.34 de	72.5 b	68.8 c	5.13 ab	0.05 cd	1.06 b	1.61c	0.04 c	0.66 ab
	EL	26.9ab	1.88 de	28 cd	1.55b	44.1 cd	42.6 de	3.50 d	0.03 ef	0.66 d	1.33de	0.05 bc	0.50 de
	DL	24.7 bc	2.55 cd	30 c	1.47 c	49.3 c	47.5 d	3.83 cd	0.05 c	0.77 c	1.29 e	0.07 ab	0.60 bc
S2	DF	19.5 d	4.49 b	36 b	1.29 e	76.9 b	80.9 b	4.71 bc	0.07 b	1.15 b	1.75 b	0.06 b	0.65 ab
	SF	25.3 bc	2.67 c	32 c	1.37 d	67.4 b	64.5 c	4.35 bcd	0.04 cde	0.86c	1.44 d	0.05 bc	0.60 bc
	EL	29.3 a	1.63 d	25 d	1.63 a	39.4 d	38.5 e	2.44 e	0.02 f	0.50e	1.18 f	0.04 c	0.43 e
	DL	26.1 ab	1.83 de	25 d	1.50 bc	44.7cd	43.7 de	2.39 e	0.04 de	0.65 d	1.23 ef	0.06 b	0.53 cd

[1] OM: مواد آلی خاک (Organic matter)، BD: چگالی ظاهری (Bulk Density)، CCE: کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate Equivalent)، χ_{lf}: پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس پائین (Low Frequency Magnetic Susceptibility)، χ_{hf}: پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس بالا (High Frequency Magnetic susceptibility)، χ_{fd}: پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (Frequency Dependent Magnetic Susceptibility)، Feo: آهن اگزالاتی (Oxalate extractable Fe)، Fed: آهن دی‌تیونایتی (Dithionite extractable Fe)، Fet: آهن کل (Total Fe)

حروف مشابه در یک ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشند، S1: شیب ۱۵-۰ درصد، S2: شیب ۳۰-۱۵ درصد، DF: کاربری جنگل متراکم، SF: کاربری جنگل تنک، EL: کاربری اراضی فرسایش یافته، DL: کاربری کشت دیم.

Numbers followed by the same letter are not significantly differences (P<0.05). S1: Slope (0-15%), S2: Slope (15-30%),. DF: Dense Forest, SF: Sparse Forest, EL: Eroded land, DL: Dryland Farm.

دلیل این امر تجزیه مواد آلی و از هم پاشیده شدن خاکدانه‌ها در اراضی تحت کشت اعلام شده است که ذرات ریزتر از طریق فرسایش حمل شده و ذرات درشت‌تر بر جای می‌مانند. در مطالعه دیگری مرتبط با اثر تغییر کاربری بر بافت خاک در منطقه یاسوج گزارش شده است که جنگل‌تراشی و اجرای عملیات زراعی طولانی مدت بر روی اراضی شیب‌دار، بافت خاک را تحت تأثیر قرار داده و از کلاس غالب لوم رسی سیلتی در جنگل به کلاس سبک‌تر لوم سیلتی در کاربری زراعی تغییر داده است. دلیل این امر اثر فرسایش و از بین رفتن لایه‌های سطحی و رخنمون شدن لایه‌های عمقی در کاربری زراعی گزارش شده است (Vacca *et al*., 2000).

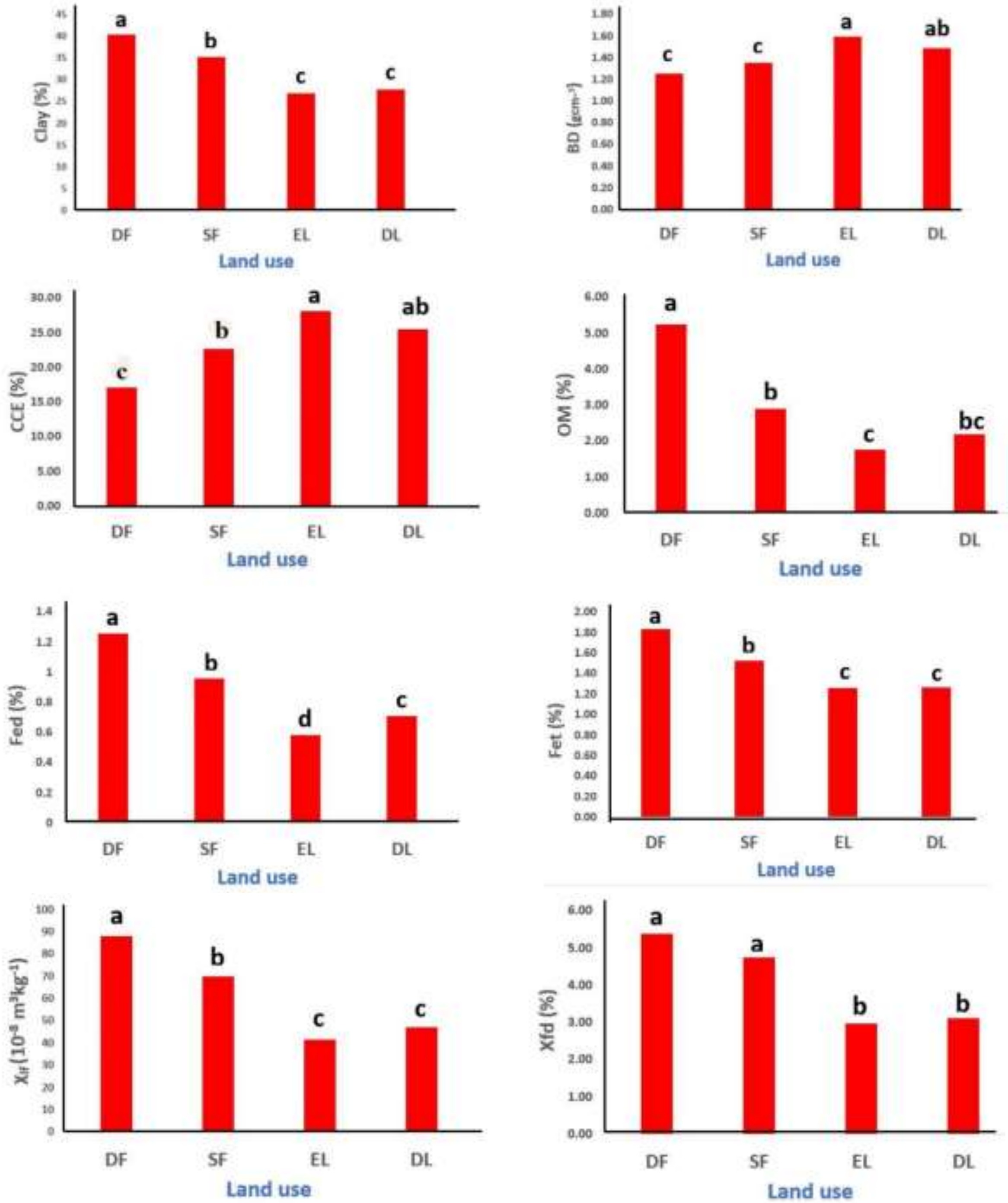
در خاک‌های مورد مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی خاک در فرکانس پائین (χ_{lf}) در دامنه $۳۶/۷ \times ۱۰^{-۸}$ $m^3\ kg^{-1}$ تا ۹۶/۶ در نوسان بوده‌است که اختلاف حدوداً ۳ برابری را نشان می‌دهد. افزایش پذیرفتاری خاک اساساً به دلیل تشکیل پدوژنیک کانی‌های فری‌مگنتیک می‌باشد که به میزان زیادی به عوامل خاک‌ساز از جمله پذیرفتاری مغناطیسی و پوشش گیاهی بستگی دارد (Feng and Johnson, 1995; Singer *et al*., 1996). کاربری‌های جنگل متراکم و تنک به ترتیب با مقادیر ۹۱/۵ و $۷۲/۵ \times ۱۰^{-۸}$ $m^3\ kg^{-1}$، بیشترین مقدار و کاربری اراضی فرسایش یافته با پذیرفتاری مغناطیسی $۴۴/۲ \times ۱۰^{-۸}$ $m^3\ kg^{-1}$ کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). تفاوت معنی‌داری بین مقدار χ_{lf} در همه کاربری‌ها به جز اراضی فرسایش‌یافته و کشت دیم مشاهده شد (شکل ۲). با توجه به فرسایش بیشتر در کاربری زراعی، انتقال رس و در نتیجه ذرات ریز کانی‌های مغناطیسی همراه آن به میزان بیشتری صورت گرفته و در نتیجه غلظت کانی‌های مغناطیسی در این کاربری نسبت به جنگل کمتر می‌باشد. محققین زیادی در مطالعات خود بیان کردند که تفاوت‌های معنی‌داری در میانگین پذیرفتاری مغناطیسی کاربری‌های مختلف وجود دارد، خاک‌های کشت‌شده به طور معنی‌داری، میانگین پذیرفتاری مغناطیسی پایین‌تری نسبت به کاربری‌های طبیعی جنگل و مرتع دارند. موقعیت زمین‌نما بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی تأثیرگذار می‌باشد (De Jong *et al*., 2000; Hussain *et al*., 1998; Sadiki *et al*., 2009; kanu *et al*., 2014). تغییر کاربری بر پذیرفتاری مغناطیسی اثر معنی‌داری داشته است و باعث کاهش معنی‌دار آن در کاربری تحت کشت به دلیل هدررفت بیشتر رس و در نتیجه ذرات ریز مغناطیسی همراه آن شده است. خصوصیاتی مانند مقدار آهک، چگالی ظاهری، پ‌هاش و درصد سیلت با تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی، اغلب به طور معنی‌داری افزایش می‌یابند (Rahimi *et al*., 2013).

همچنین نتایج نشان داد که اگر چه مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در پایین شیب (با بافت سنگین‌تر) بالاتر بوده است، اما در مجموع عامل شیب به جز در کاربری جنگل متراکم بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی سایر کاربری‌ها در این منطقه اثر معنی‌داری نداشته است (جدول ۲). مطالعات دیگر نشان داده است که معمولاً میزان پذیرفتاری در پایین شیب به دلیل تحول در ماده مادری افزایش می‌یابد که این موضوع مرتبط با تغییرات بخش ریز خاک است (De Jong *et al*., 1998; Sparks, 1996). همچنین مطالعات کوئیجانو و همکاران (Quijano *et al*., 2011) که در اراضی کشت شده در شمال شرق اسپانیا انجام شد نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی تحت تاثیر ارتفاع و شیب قرار گرفته به طوری که بیشترین میزان پذیرفتاری در بالادست شیب و کمترین میزان در پایین‌دست شیب مشاهده شد. مطالعات انجام گرفته پیرامون پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، حداکثر مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی را در موقعیت‌های پایدار ژئومورفولوژیک و در شیب‌های کمتر و با مقادیر بالاتر ذرات رس نشان می‌دهند (Owliaie *et al*., 2018; Owliaie, 2014; Owliaie *et al*., 2006).

پستی و بلندی ارتباط نزدیکی با زهکشی خاک و انتقال ذرات خاک داشته که می‌تواند بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک نیز موثر باشد. مطالعات پذیرفتاری بر روی یک ردیف پستی و بلندی، بر اساس اینکه کدام اندازه ذره بر بخش مغناطیسی تاثیر دارد، ارتباطهای مختلفی را نشان می‌دهد. دی‌یانگ و همکاران (De Jong *et al*., 1998) اظهار نمودند که میزان پذیرفتاری مغناطیسی در پایین شیب به‌دلیل هوادیدگی بیشتر ماده مادری افزایش می‌یابد که این موضوع را مرتبط با تغییرات بخش ریز خاک دانسته‌اند.

انتقال ذرات ریز خاک و به ویژه رس یکی از مهمترین دلایل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در بخش‌هایی است که رس رسوب کرده است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ذرات ریز مغناطیسی (از جمله مگهمیت) در طی این فرآیند، همراه با ذرات رس به صورت پوشش روی رس انتقال می‌یابند (Mokhtari *et al*., 2011; Sadiki *et al*., 2009).

وفائی‌زاده و همکاران (Vafaiezadeh *et al*., 2016) مطالعه‌ای را در اراضی تپه‌ماهوری استان کهگیلویه و بویراحمد انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که میزان پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف در موقعیت‌های پایین شیب به طور معنی‌داری بیشتر از موقعیت‌های بالای شیب بوده که به هدررفت پیوسته خاک سطحی در نقاط بالادست و اضافه شدن این ذرات به قسمت‌های پایین‌دست نسبت داده شده است. همچنین کاهش معنی‌دار مقدار کربنات‌کلسیم در موقعیت‌های پایین شیب، که ناشی از شیب کمتر و آبشویی بیشتر در خاکرخ می‌باشد، از دلایل احتمالی دیگر افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در این موقعیت‌ها گزارش شده است.



شکل ۲- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های خاک بین کاربری های مختلف در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر

(DF: کاربری جنگل متراکم، SF: کاربری جنگل تنک، EL: کاربری اراضی فرسایش یافته، DL: کاربری کشت دیم).

Figure 2- The comparison of mean soil properties in different land uses at 0-15 cm

(DF: Dense Forest, SF: Sparse Forest, EL: Eroded land, DL: Dryland Farm).

در منطقه مورد مطالعه نیز به نظر می‌رسد که تغییرات پـذیرفتاری مغناطیسی تا حدود زیادی تحت تاثیر تغییرات بافت خاک بوده اسـت.

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار رس و پـذیرفتاری مغناطیسـی در خاک‌های مورد مطالعه به دست آمد (R^2=0.74, $P<0.01$) (شکل

۳ ج). بر این اساس با توجه به بیشتر بودن مقدار رس در پایین دست شیب، مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در این بخش نیز بالاتر بوده است. با توجه به اینکه همبستگی بالایی بین مقادیر شن و سیلت با پذیرفتاری مغناطیسی بدست نیامد، این امر می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که منشاء ذرات مغناطیس عمدتا در بخش رس خاک می‌باشد. ضمن آنکه کاربری جنگل متراکم نیز به دلیل مقادیر بالاتر رس در بافت خاک حداکثر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را نشان داد (جدول ۲).

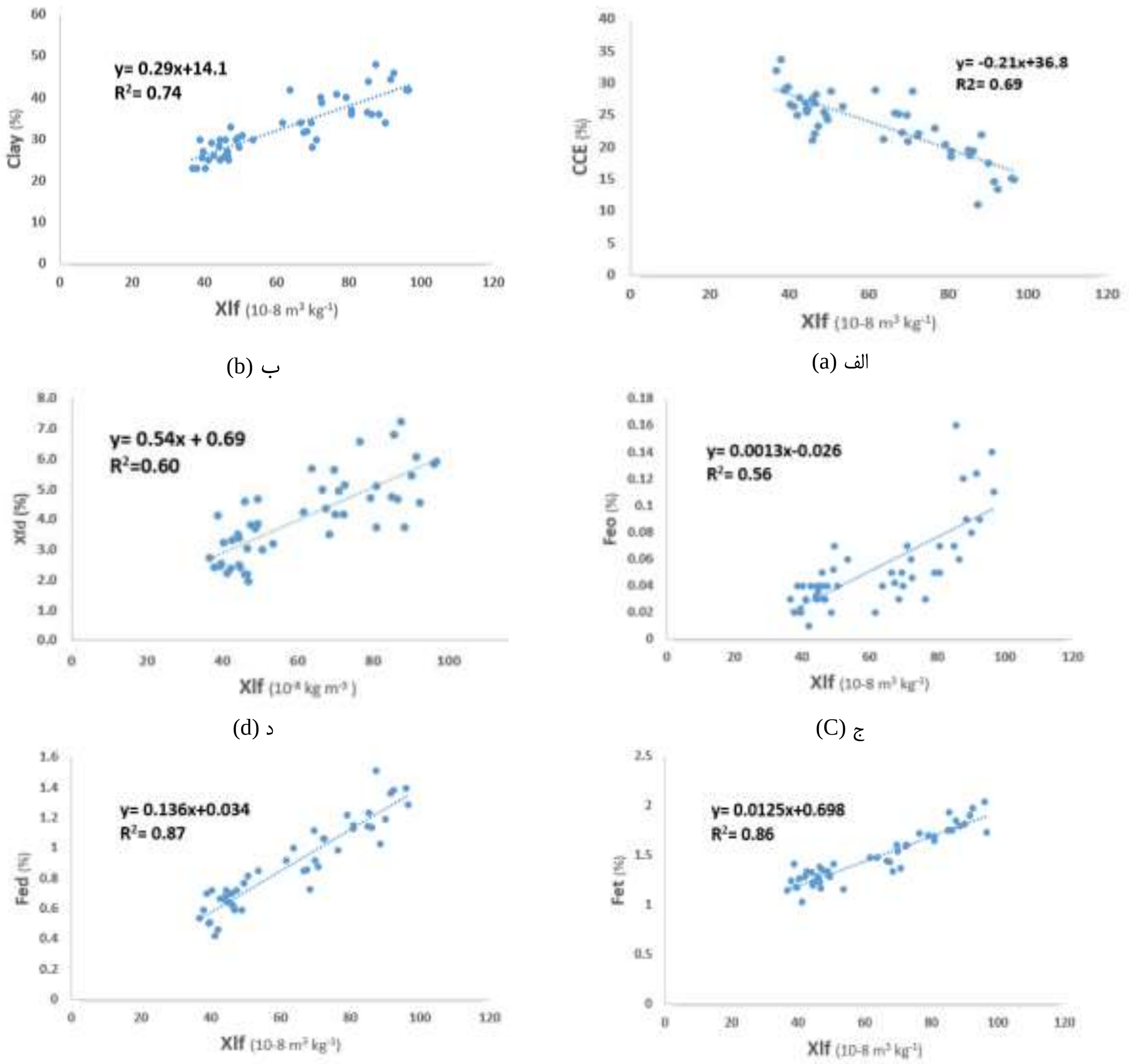
تغییرات مقدار ماده آلی خاک در کاربری‌ها و شیب‌های مختلف نسبتا زیاد می‌باشد (۱/۴ تا ۷/۵ درصد). تفاوت معنی‌داری بین همه کاربری‌ها بجز دو کاربری اراضی فرسایش‌یافته و اراضی دیم از نظر مقدار ماده آلی خاک مشاهده شد. اثر شیب نیز فقط در کاربری‌های جنگل متراکم و تنک بر میزان ماده آلی خاک مؤثر بوده است (شکل ۲، جدول ۲). در بسیاری از پژوهش‌ها به نقش مواد آلی بر افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک اشاره شده است. دیرینگ و همکاران (Dearing *et al*., 1985) اظهار داشتند که افزایش میزان ماده آلی در سطح خاک، به خصوص در مناطق مرطوب‌تر و خنک‌تر عاملی برای افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک می‌باشد. فعالیت ریزموجودات عاملی در جهت افزایش تبدیل اکسیدهای آهن غیرمغناطیسی به اکسیدهای مغناطیسی آن می‌باشد. همچنین اشاره شده است که مقدار بیشتر مواد آلی و ریزموجودات هتروتروف در نزدیک سطح خاک می‌تواند تشکیل کانی‌های فِرّی- مگنتیت را که نقش مهمی در افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک دارد، افزایش دهند (Fine *et al*., 1989).

در خاک‌های مورد مطالعه رابطه مثبت و معنی‌داری نیز بین مقدار ماده آلی و پذیرفتاری مغناطیسی ($R^2=0.75,\ P<0.01$) وجود دارد. همچنین افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک سطحی می‌تواند ناشی از فعالیت باکتری مگنتوتاکتیک و همچنین چرخه احیاء و اکسید در افق سطحی در مقایسه با افق‌های عمقی خاک باشد. افق‌های سطحی به دلیل اینکه بیشتر در معرض فرایندهای خشک و تر شدن نسبت به عمق خاک هستند، امکان تجربه بیشتر شرایط اکسایش-کاهش را دارند. موجودات زنده اثرات متفاوتی بر تشکیل کانی‌های مغناطیسی دارند (Yang *et al*., 2009). بعلاوه نوع کاربری و پوشش گیاهی بر کلاته شدن و هوادیدگی اسیدی و در نهایت فرآیندهای خاصی مانند پادزولی شدن که تعیین کننده تشکیل و تجمع کانی‌های مغناطیسی است، مؤثرند (Blundell *et al*., 2009). فرسایش خاک و خروج ذرات رس بسیار ریز حاوی اکسیدهای آهن مغناطیسی از خاک منجر به کاهش پذیرفتاری مغناطیسی به ویژه در کاربری‌های زراعی و فرسایش یافته شده است.

کمترین مقدار کربنات کلسیم در کاربری جنگل متراکم و شیب S1 (به میزان ۱۴/۷ درصد) و بیشترین مقدار در اراضی فرسایش‌یافته و شیب S2 (به میزان ۲۹/۳ درصد) مشاهده شده است (جدول ۲). تفاوت معنی‌داری بین مقدار کربنات کلسیم معادل در همه کاربری‌ها به جز اراضی فرسایش‌یافته و کشت دیم مشاهده شد (شکل ۲). همچنین اثر شیب بر میزان کربنات کلسیم معادل فقط در کاربری جنگل متراکم معنی‌دار بوده‌است. در بین مواد دیامغناطیسی، گچ و کربنات‌ها به دلیل تحرکی که طی فرایندهای خاک‌سازی در خاک دارند، باعث رقیق شدن تأثیر مواد مغناطیسی می‌شوند. مواد آلی که به خاک (به‌ویژه به سطح خاک) اضافه می‌شوند و هم‌چنین رطوبت موجود در خاک نیز تأثیر مشابهی دارند (Dearing, 1999). با توجه به آهکی بودن مواد مادری و تغییرات پستی و بلندی در منطقه مطالعاتی، این عامل نیز بر پهنه‌بندی ویژگی‌های مغناطیسی خاک‌ها مؤثر بوده‌است.

نفوذپذیری بیشتر خاک‌های جنگلی با توجه به وزن مخصوص ظاهری کمتر و ماده آلی بیشتر که موجب افزایش شدت تنفس خاک و تولید بیشتر دی اکسید کربن و حل شدن کربنات‌ها توسط اسید کربنیک می‌شود، شرایط را برای آبشویی بیشتر کربنات کلسیم از سطح خاک فراهم می‌نماید. تجزیه مواد آلی توسط ریزموجودات، منجر به تولید اسیدهای آلی می‌شود که بر انحلال و خنثی‌سازی کربنات‌های خاک موثر می‌باشند (Nasiri *et al*., 2019). بر این اساس رابطه منفی و معنی‌داری بین مقادیر کربنات کلسیم و پذیرفتاری مغناطیسی ($R^2=0.69,\ P<0.01$) خاک‌های مطالعه شده بدست آمد (شکل ۳ الف). تغییر در ترکیب مواد در سطح خاک و یا سایر تغییرات شدید در توده خاک می‌توانند میزان پذیرفتاری مغناطیسی در یک افق را نسبت به سایر افق‌ها تغییر دهد که این امر مربوط به افزایش یا کاهش غلظت ترکیبات مغناطیسی در خاک می‌باشد (De Jong *et al*., 2000). بارندگی زیاد، پوشش جنگلی، پایداری ژئومورفیک، مقدار بالای مادهٔ آلی در خاک، زهکشی مناسب، تخلیه خاک از مواد دیامگنتیک و تکامل ژنتیکی از عوامل افزایش‌دهنده پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های جنوب ایران نام برده‌شده‌اند (Owliaie and Najafi Ghiri, 2018; Owliaie *et al*., 2006).

شاخص پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ_{fd}) در خاک‌های مطالعه‌شده در دامنه ۱/۹۳ تا ۷/۲ درصد متغیر بوده است. مقادیر بیشتر این شاخص به ترتیب در کاربری‌های جنگل متراکم و جنگل تنک و حداقل مقدار در اراضی فرسایش یافته اندازه‌گیری شده است (شکل ۲). تفاوت معنی‌داری بین کاربری‌های جنگل و دو کاربری دیگری مشاهده شده است، ضمن آنکه اثر شیب فقط در کاربری جنگل متراکم بر پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ_{fd}) موثر بوده است (جدول ۲). همانگونه که ذکر شد مقادیر χ_{fd} در خاک‌های مطالعه‌شده همگی کمتر از ۱۰ درصد می‌باشند. دیرینگ (Dearing, 1999) مدلی را برای تفسیر پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس به شرح زیر پیشنهاد کرد: بر این اساس نمونه‌های خاکی که χ_{fd} کمتر از ۲ درصد دارند، اساساً فاقد ذرات سوپرپارامگنتیک (SP) هستند و اغلب دارای ذرات با اندازه بزرگتر از ۰/۰۳ میکرون هستند.



(b) ب الف (a)

(d) د ج (C)

(f) و ه (e)

شکل ۳- همبستگی میان پذیرفتاری مغناطیس (χ_{lf}) و برخی ویژگی‌های خاک در خاک‌های مطالعه شده

Figure 3- Correlation between magnetic susceptibility (χ_{lf}) and some of soil properties in the studied soils

نمونه‌هایی کـه χ_{fd} آنهـا در دامنـه ۲ تـا ۱۰ درصـد اسـت، دارای مخلوطی از ذرات SP و دانه‌های درشت فاقـد سـوپرپارامگنتیک و یـا ذرات سوپرپارامگنتیک با انـدازه کـوچکتر از ۰/۰۰۵ میکـرون بـوده و نمونه‌هایی که حاوی بیش از ۷۵ درصد ذرات SP می‌باشـند، χ_{fd} آنهـا بزرگتر از ۱۰ درصد است. با توجه به اینکـه χ_{fd} در خـاک‌هـای مـورد مطالعه در دامنه ۱/۹۳ تا ۷/۲ درصد متغیر بوده است، بر اسـاس مـدل یاد شده ذرات مغناطیسی این خاک‌ها دارای مقادیر کم تـا متوسـط از ذرات SP هستند (Jordanova, 2017). مقادیر بالای χ_{fd} در کاربری جنگل، بیانگر غالب بودن فرایندهای پدوژنز در تشکیل ذرات ریـز SP در مقایسه با ذرات درشت فرومغناطیس توارثی می‌باشد. تشـکیل ایـن ذرات به میزان زیادی به عوامل خاک‌ساز بسـتگی داشـته و بنـابراین می‌توان نتیجه گرفت که پـذیرفتاری مغناطیسـی در خـاک‌هـای ایـن منطقه بیشتر متأثر از فرایندهای خاکسـازی مـی باشـد (Lement *et al.*, 2005). فرضیه مطرح در مورد افـزایش پـذیرفتاری مغناطیسـی، بیشتر اشاره به تغییر شکل درجای آهن غیرمغناطیسی، به ریز بلورهای مگنتیت و مگهمیت دارد (Singer *et al.*, 1996).

میزان Fe_o (شامل ترکیبات آلی و بی‌شکل آهـن) در خـاک‌هـای مطالعه‌شده در دامنـهٔ ۰/۰۱ تـا ۰/۱۶ درصـد (میـانگین ۰/۰۵ درصـد) متغیر است (جدول ۱). وجود مواد آلی زیاد و شرایط زهکشی ضـعیف از عواملی است که منجر به افزایش میـزان Fe_o در خـاک مـی‌شـوند

(Owliaie and Najafi Ghiri, 2018). حداکثر میزان Fe_o در کاربری جنگل متراکم (با مواد آلی بیشتر) و شیب کمتر (۰ تا ۱۵ درصد) مشاهده شد. ماندگاری بیشتر رطوبت در شیب‌های پایینی، شرایط را برای افزایش مقدار ترکیبات غیربلورین آهن فراهم می‌نماید. اختلاف معنی‌داری بین میزان Fe_o در کاربری‌های جنگل تنک و کشت دیم مشاهده نشد. همچنین اثر شیب در کاربری‌های جنگل متراکم و کشت دیم بر میزان Fe_o معنی‌دار بوده است (جدول ۲). رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقادیر Fe_o و پذیرفتاری مغناطیسی (R^2=0.56) خاک‌های مطالعه شده بدست آمد (شکل ۳ ج).

مقدار Fed (شامل ترکیبات بلورین آهن) در خاک‌های مطالعه‌شده در دامنهٔ ۰/۴۲ تا ۱/۵۱ درصد (میانگین ۰/۸۸ درصد) بوده است (جدول ۱). بیشترین مقدار Fed در کاربری جنگل متراکم و کمترین مقدار در اراضی فرسایش یافته مشاهده شد (جدول ۲). اختلاف معنی‌داری بین مقادیر Fed در کاربری‌های مختلف مشاهده شد (شکل ۲). همچنین اثر شیب نیز در کلیه کاربری‌ها معنی‌دار می‌باشد و مقادیر بیشتر در شیب کمتر (۱۵-۰ درصد) مشاهده شد. رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقادیر Fe_d و پذیرفتاری مغناطیسی (R^2=0.87) خاک‌های مطالعه شده بدست آمد (شکل ۳ و).

مقدار Fet (آهن کل) در خاک‌های مطالعه‌شده در دامنهٔ ۱/۰۳ تا ۲/۰۴ درصد (میانگین ۱/۴۵ درصد) بوده است (جدول ۱). بیشترین مقدار Fet در کاربری جنگل متراکم و کمترین مقدار در اراضی فرسایش یافته مشاهده شدند (جدول ۲). اختلاف معنی‌داری بین مقادیر Fet در کاربری‌های مختلف بجز اراضی فرسایش یافته و کشت دیم مشاهده شد (شکل ۲). همچنین اثر شیب نیز در کلیه کاربری‌ها بجز کشت دیم معنی‌دار بوده است و مقادیر بیشتر در شیب کمتر (۱۵-۰ درصد) مشاهده شد. رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقادیر Fe_t و پذیرفتاری مغناطیسی (R^2=0.86, $P<0.01$) خاک‌های مطالعه شده بدست آمد (شکل ۳ ه). با توجه به همبستگی معنی‌دار و نسبتا بالای شکل‌های آهن به ویژه Fed و Fet با پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های مورد مطالعه، می‌توان با اندازه‌گیری این شاخص (χ_{lf}) که روش سریع‌تری است، مقادیر اشکال آهن خاک را تخمین زد. در مطالعه اثر پستی و بلندی و کاربری اراضی بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک در دشت مادوان در شمال یاسوج، رابطه مثبت و معنی‌داری بین χ_{lf} و Fe_d در خاک‌های با زهکشی مناسب (R^2=0.87, $p<0.01$) مشاهده شد (Owliaie and Najafi Ghiri, 2015).

اثر شیب تقریباً در همه کاربری‌ها بر شکل‌های آهن معنی‌دار بوده است. با توجه به اینکه تغییرات شیب و پستی و بلندی بر بسیاری ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک موثر است و ارتباط معنی‌دار مقدار رس با پذیرفتاری مغناطیسی، تغییرات مقدار رس (بافت) در شیب‌های مختلف (جدول ۲ و شکل ۳)، می‌تواند یکی از عوامل اصلی بر تغییرات شکل‌های آهن و پذیرفتاری مغناطیسی باشد.

نسبت Fe_o/Fe_d در خاک‌های این مطالعه در دامنه ۰/۰۴ تا ۰/۰۹ بوده است. این نسبت شاخصی از تفاوت در محیط پدوژنیکی خاک از جمله وجود لیگاندهای آلی، سن خاک، درجه هوادیدگی و شرایط اکسایش-کاهشی می‌باشد (Owliaie and Najafi Ghiri, 2018). خاکهای غیراکوئیک دارای نسبت کمتری از Feo/Fed هستند که بیانگر حضور بیشتر اکسیدهای کریستالی آهن (هماتیت و گوتیت) هستند. به گفته لو و همکاران (Lu *et al.*, 2012). خاکهای هیدرومورفیک تشکیل‌شده بر روی مواد مادری متفاوت دارای نسبت Feo/Fed حدود ۰/۵۵ تا ۰/۶۰ می‌باشند که بیانگر فازهای اکسید آهن با تبلور ضعیف‌تر نسبت به اکسیدهای آهن تشکیل شده در خاک‌های خشک با مواد مادری یکسان هستند.

با توجه به پایین بودن این نسبت، خاک‌های منطقه مطالعاتی دارای شرایط زهکشی خوبی بوده و اکسیدهای آهن عمدتا با تبلور خوب حضور دارند. مقادیر بالاتر این نسبت در کاربری‌های جنگل متراکم و کشت دیم مشاهده شد. همچنین اثر شیب فقط در کاربری جنگل متراکم معنی‌دار بوده است. در مطالعه مغناطیس‌سنجی صورت گرفته در خاک واحدهای مختلف فیزیوگرافی در دشت بشار یاسوج گزارش شد که شرایط زهکشی ضعیف موجب کاهش ۴۳ درصدی پذیرفتاری مغناطیسی، کاهش ۴۴ درصدی Fe_d، افزایش ۵۲ درصدی Fe_d و کاهش ۶۵ درصدی شاخص تبلور (Fe_d/Fe_t) شده است (Enjavinejad *et al.*, 2017). در شرایط هیدرومورفیک و کمبود اکسیژن، آهن از فرم Fe(III) به شکل Fe(II) تبدیل می‌گردد. در این شرائط امکان تشکیل اکسیدهای آهن بلورین کمتر وجود داشته و ترکیبات آهنی به شکل آلی و بی‌شکل (از جمله پیریت و سیدریت با تبلور کم) می‌باشند (Owliaie and Rezaie, 2014).

والایی و همکاران (Valaee et al., 2016) مطالعه‌ای را در خاک‌های لسی شمال ایران با رژیم‌های رطوبتی مختلف به منظور تعیین ارتباط پذیرفتاری مغناطیسی با برخی ویژگی‌های خاک از جمله شکل‌های آهن انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی با Fed و Fed-Feo همبستگی مثبت و معنی‌دار و با ماده آلی، درصد کربنات‌کلسیم، درصد سیلت و نسبت Fe_o/Fe_d همبستگی منفی و معنی‌داری دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که به منظور ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی و موقعیت شیب بر تغییر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مغناطیسی خاک صورت گرفت، نشان داد که نوع کاربری اراضی و شیب زمین‌نما از عوامل موثر بر تغییر ویژگی‌های خاک در منطقه مختار یاسوج می‌باشند. تغییرات کاربری همراه با کاهش مواد آلی و تخریب خاک‌دانه‌ها و مستعد نمودن اراضی برای فرسایش و هدررفت

ذرات رس و کانی‌های ریز مغناطیسی آهن بر بسیاری از ویژگی‌های خاک تاثیر گذاشته است. ماده آلی به عنوان یک شاخص مهم کیفی خاک، کاهش حدود ۳ برابری را در نتیجه تغییر کاربری از جنگل متراکم به اراضی فرسایش یافته نشان می‌دهد که متعاقب آن افزایش چگالی ظاهری و کاهش نفوذپذیری خاک و سایر شاخص‌های کیفی خاک می‌باشد. جنگل‌تراشی و عملیات زراعی طولانی مدت بر روی اراضی شیب‌دار، بافت خاک را از کلاس لوم رسی سیلتی در جنگل به کلاس سبک‌تر لوم سیلتی در کاربری زراعی تغییر داده است.

پذیرفتاری مغناطیسی خاک که تابع ذرات مغناطیسی خاک می‌باشد، به میزان زیادی تحت تأثیر تغییر کاربری و به میزان کمتر تحت تأثیر موقعیت شیب می‌باشد. با توجه به این‌که این شاخص تحت تاثیر عواملی چون بافت خاک، وضعیت زهکشی، شرایط فرسایشی، نسبت کانی‌های مغناطیسی آهن، شرایط تکاملی خاک و غیره قرار دارد، تغییرات کاربری از جنگل به سایر کاربری‌ها اثرات معنی‌داری (حدود ۲ برابر) بر این شاخص داشته است. کاهش معنی‌دار مقدار کربنات کلسیم در موقعیت‌های پایین شیب از دلایل دیگر افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در این موقعیت‌ها می‌باشد. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده χ_{fd} (دامنه ۱/۹ تا ۷/۲ درصد)، ذرات مغناطیسی این خاک‌ها دارای مقادیر کم تا متوسط از ذرات پدوژنیک سوپر پارامگنتیک هستند که بیانگر تأثیر توام ذرات ریز سوپر پارامگنتیک و ذرات درشت‌تر فرومغناطیس تواری در پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌باشد.

اثر شیب، تقریبا در همه کاربری‌ها بر شکل‌های آهن معنی‌دار بوده است. با توجه به همبستگی نسبتاً بالای پذیرفتاری مغناطیسی (χ_{lf}) با برخی ویژگی‌های خاک از جمله شکل‌های آهن، بافت خاک، میزان ترکیبات دیامگنتیک از جمله کربنات کلسیم در خاک‌های مورد مطالعه، می‌توان با تعیین این شاخص (χ_{lf}) که روش سریع و ارزانی است، مقادیر این ویژگی‌های خاک را نیز تخمین زد. با توجه به نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه، این امکان وجود دارد که با استفاده از شاخص‌هایی مانند مغناطیس‌سنجی، مناطق حساسی را که در معرض تخریب زیادی بوده و کیفیت خاک آنها به دلیل نوع مدیریت، به میزان زیادی کاهش یافته، شناسایی و جهت انجام طرح‌های حفاظتی و مدیریتی مناسب از آنها بهره جست.

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل اعتبار طرح پژوهشی به شماره ۸۹/۵۸۱ معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج صورت گرفته که بدین وسیله از همکاری این معاونت قدردانی می‌شود.

منابع

1- Adélia N., Nunes António C., de Almeida Celeste O., and Coelho A. 2011. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginalarea of Portugal. Applied Geography 31: 687-699. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.12.006.

2- Afshari A., Khademi H., and Ayoubi S.H. 2015. Lithological and anthropogenic factors affecting magnetic properties of calcareous soils in Zanjan. Journal of Water and Soil Conservation 22(3): 73-88. (In Persian with English abstract)

3- Amundson R., Asefaw Berhe A., Hopmans J.W., Olson C., Ester Sztein A., and Sparks D.L. 2015. Soil and human security in the 21st century. Science 348: 1–6. DOI: 10.1126/science.12610.

4- Bewket W., and Stroosnijder L. 2003. Effects of agroecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. Geoderma 111: 85-98.

5- Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Bulk density. In: A. Klute, (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods, 2ed. Agronomy Monograph No 9. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 363-375.

6- Blundell A., Dearing J.A., Boyle J.F., and Hannam J.A. 2009. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales. Earth-Science. Review 95: 158–188. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.05.001.

7- Carter M.R., Gregorich E.G., and Angers D.A. 1998. Organic C and N storage and organic C fractions in adjacent cultivated and forest soils of eastern Canada. Soil Tillage Research 47: 253-261.

8- Celik I. 2005. Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil Tillage Research 83: 270-277.

9- Day R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. P: 545-566. In A. Black et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. ASA and SSSA, Madison, WI.

10- De Jong E., Nestor P.A., and Pennock D.J. 1998. The use of magnetic susceptibility to measure long-term soil redistribution. Catena 32: 23–35.

11- De Jong E., Pennock D.J., and Nestor P.A. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan. Catena 40(3): 291-305. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1.

12- Dearing J. 1999. Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System. Chi Publishing, Keniloworth, England.

13- Dearing J.A., Maher B.A., and Oldfield F. 1985. Geomorphological linkages between soils and sediments: The role of magnetic measurements. In: K.S. Richards, R.R. Arnett, S. Ellis, (eds.), Geomorphology and soils. London: George Allen and Unwin 245–266. https://doi.org/10.4324/9780429320781-13.

14- Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality, In: J.W. Doran et al. (eds.) Defining soil quality for a sustainable Environment, Soil Science Society of America, Special Publication, NO.35, Madison, Wisconsin, USA, pp: 3-21.

15- Enjavinejad M., Owliaie H.R., and Adhami E. 2017. Study of magnetic susceptibility of the soils of a toposequence case study: Beshar Plain, Kohgilouye Province. Journal of Water and Soil 31(2): 478-489. (In Persian with English abstract)

16- Evrendilek F., Celik I., and Kilic S. 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. Journal Arid Environment 59: 743-752. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.002.

17- Feng Z.D., and Johnson W.C. 1995. Factors affecting the magnetic susceptibility of a loess-soil sequence, Barton County, Kansas, USA. Catena 24: 25-37.

18- Fine P., Singer M.J., Laven R., Verosub K., and Southard R.J. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. Geoderma 44: 287-306. https://doi.org/10.1016/0016-7061(89)90037-2.

19- Hajabbasi M.A., Jalalian A., and Karimzadeh H.R. 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. Plant and Soil 190: 301-308. https://doi.org/10.1023/A:1004243702208.

20. Holmgren G.G.S. 1976. A rapid citrate-dithionate extractable iron procedure. Soil Science Society America Proceeding 31: 210-211.

21- Hussain I., Olson K.R., and Jones R.L. 1998. Erosion patterns on cultivated and uncultivated hill slopes determined by soil fly ash contents. Soil Science 163(9): 726-738.

22- Islam K.R., and Weil R.R. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture Ecosystem Environment 79: 9-16.

23- Jordanova N. 2017. Soil magnetism. Application in pedology, environmental science and agriculture. ISBN: 978-0-12-809239-2. 450p.

24- Kanu M.O., Meludu O.C., and Oniku S.A. 2014. Comparative study of top soil magnetic susceptibility variation based on some human activities. Geofísica Internacional 53(4): 411-423. https://doi.org/10.1016/S0016-7169(14)70075-3

25- Lal R. 1995. Global soil erosion by water and carbon dynamics. p. 131-142. In: R. Lal., J. Kimble., E. Levine., and B.A. Stewart (Eds.), Soils and Global Change, Advances in Soil Science CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

26- Lal R., Mokma D., and Lowery B. 1999. Relation between soil quality and erosion, In: R. Lal (ed.). Soil Quality and Soil Erosion, 39-56, Soil and Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton.

27- Lement M., Karltun E., and Olsson M. 2005. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. Agriculture, Ecosystems & Environment 105: 373-386.

28- Lu S.G., Chen D.J. Wang S.Y., and Liu Y.D. 2012. Rock magnetism investigation of highly magnetic soil developed on calcareous rock in Yun-Gui Plateau, China: evidence for pedogenic magnetic minerals. Journal Applied Geophysics 77: 39-50. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.11.008.

29- Lu S.G., Xue Q.F., Zhu L., and Yu J.Y. 2008. Mineral magnetic properties of a weathering sequence of soils derived from basalt in Eastern China. Catena 73: 23–33.

30- Magiera T., Strzyszcz Z., Kapicka A., and Petrovsky E. 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. Geoderma 130(3): 299–311.

31- McKeague J.A., Wang C., Ross G.J., Acton C.J., Smith R.E., Anderson D.W., Petapiece W.W., and Lord T.M. 1981. Evaluation of criteria for Argillic horizons (Bt) of soils in Canada. Geoderma 25: 63-74.

32- Mehmandoost F., Owliaie H.R., Adhami E., and Naghiha R. 2020. Changes in biological, chemical and soil fertility characteristics as a result of land use change (A case study: Mokhtar region of Yasouj). Journal Water Soil Science 23(4): 141-154. (In Persian with English abstract)

33- Moghbeli Z., Owliaie H.R., Adhami E. Najafi-Ghiri M., and Sanjari S. 2021. Pedogenesis and spatial distribution of soil magnetic properties along a lithotoposequence in an arid region of Southern Iran. Catena 198(5): 104979. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104979.

34- Moghbeli Z., Owliaie H.R., Sanjari S., and Adhami E. 2019. Genetic study of soil-landscape relationship in arid region of Faryab, Kerman Province. Journal of Water and Soil 33(2): 333-347. (In Persian with English abstract)

35- Mokhtari Karchegani P., Ayoubi S., Lu S.G., and Honarju N. 2011. Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. Journal of Applied Geophysics 75: 227–236.

https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.07.017.

36- Mullins C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. Journal Soil Science 28: 223-246.

37- Munch J.C., and Ottow J.C.G. 1983. Reductive transformation mechanism of ferric oxides in hydromorphic soils. Environment Biogeochemstry Ecology Bull 35: 383-394.

38- Nasiri E., Owliaie H.R., Safari Y., and Sedghi-Asl M. 2019. Geostatistical assessing of some soil properties variability due to the oak land deforesting in Mokhtar Plain, Yasouj. Applied Soil Research 7(3): 83-97. (In Persian with English abstract)

39- Ogunkunle A.O., and Eghaghara O.O. 2007. Influence of land use on soil properties in a forest region of Southern Nigeria. Soil Use and Management 8(3): 121–124. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1992.tb00906.x.

40- Owliaie H.R., and Najafi Ghiri M. 2015. Effects of topography and land use on the soil magnetic susceptibility, Case study: Madvan Plain, Kohgilouye Province. Journal of Water and Soil 18(70): 159-170.

41- Owliaie H.R., Adhami E., Najafi Ghiri M., and Shakeri S. 2018. Pedological investigation of a Litho-Toposequence in a semi-arid region of Southwestern Iran. Eurasian Soil Science 51(12): 1447–1461.

42- Owliaie H.R., and Najaf Ghiri M. 2018. The Magnetic Susceptibility and Iron Oxides of Aquic Soils in Southern Iran. Eurasian Soil Science 51(10): 1252–1265. https://doi.org/10.1134/S1064229318100095.

43- Owliaie H.R. 2014. A magnetic investigation along a NE-SW transect of the Yasouj Plain, Southwestern Iran. Archives of Agronomy and Soil Science 60(7): 1015-1024. https://doi.org/10.1080/03650340.2013.855724.

44- Owliaie H.R., and Rezaei S. 2014. Effect of topography and land use on genesis, chemical forms of Fe and Mn, and clay mineralogy of soils of Yasouj western plain. Journal of Water and Soil Conservation 21(2): 109-129. (In Persian with English abstract)

45- Owliaie H.R., Heck R.J., and Abtahi A. 2006. The magnetic susceptibility of soils in Kohgilouye, Iran. Canadian Journal Soil Science 86: 97-107. https://doi.org/10.4141/S05-003.

46- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, Second edition. Part 2: Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Journal Publisher.

47- Pathak P., Sahrawat K.L., Rego T.J., and Wani S.P. 2004. Measurable biophysical indicators for impact assessment: changes in soil quality. In: B. Shiferaw, H.A. Freeman., and S.M. Swinton. (Eds.), Natural Resurce Management in Agriculture, Methods for Assessing Economic and Environmental Impacts, ICRISAT. Patancheru, India. https://doi.org/10.1079/9780851998282.0053.

48- Quijano L., Gaspar L., López-Vicente M., Chaparr A.E., Machín J., and Navas A. 2011. Soil magnetic susceptibility and surface topographic characteristics in cultivated soils. Latin mag Letters, Volume 1, Special Issue, D10, 1-6. Proceedings Tandil, Argentina.

49- Rahimi M.R., Ayoubi S., and Abdi M.R. 2013. Magnetic susceptibility and Cs-137 inventory as influenced by land use change and slope position in a hilly, semiarid region of west-central Iran. Journal of Applied Geophysics 89: 68–75. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.11.009.

50- Sadiki A., Faleh A., Navas A., and Bouhlassa S. 2009. Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco. Earth Surface Processes and Landforms 34: 2057–2069

51- Schwertmann U., and Taylor R.M. 1989. Iron oxides. PP. 379-438. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.), Minerals in soil environment. Soil Science Society of America, Madison, USA.

52- Singer M.J., Verousb K.L., Fine P., and Tempas J. 1996. A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soils. Quaternary International 34-36: 243-248.

53- Sparks D.L.1996. Methods of soil analysis. Part 3 - chemical methods, Soil Science Society of America, Wisconsin, Madison 1085-1121.

54- Thompson R., and Oldfield F. 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin, London. 227p.

55- Vacca S., Loddo G., Ollesch R., Puddu G., Serra D., and Tomasi A. 2000. Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia, Italy. Catena 40: 69–92. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00088-6.

56- Vafaiezadeh R., Ayoubi SH., Mosadeghi M.R., and Yousefifard M. 2016. Slope and land use changing effects on soil properties and magnetic susceptibility in hilly lands, Yasouj region. Journal of Water and Soil 30(2): 632-642. (In Persian with English abstract)

57- Valaee M., Ayoubi Sh., Khormali F., Gao Lu Sh., and Karimzadeh H.R. 2016. Using magnetic susceptibility to discriminate between soil moisture regimes in selected loess and loess-like soils in northern Iran. Journal of Applied Geophysics 127: 23–30 https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.02.006.

58- Yang P., Mao R., and Shao H. 2009. An investigation on magnetic susceptibility of hazardous saline-alkaline soils from the contaminated Hai River Basin, China. Journal of Hazardous. Materials 172: 494-497.